

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/EP04/053462

International filing date: 14 December 2004 (14.12.2004)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: DE
Number: 10360710.2
Filing date: 19 December 2003 (19.12.2003)

Date of receipt at the International Bureau: 24 February 2005 (24.02.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

PCT/EP2004/053462

DE 101 115

02.02.05



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 103 60 710.2

Anmeldetag: 19. Dezember 2003

Anmelder/Inhaber: Endress + Hauser GmbH + Co KG,
79689 Maulburg/DE

Bezeichnung: Verfahren zur Füllstandsmessung nach dem Laufzeitprinzip

IPC: G 01 F, G 01 S

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 24. Januar 2005
Deutsches Patent- und Markenamt

Der Präsident
im Auftrag

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Wink".

Steck

Verfahren zur Füllstandsmessung nach dem Laufzeitprinzip

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Füllstandsmessung
5 nach dem Laufzeitprinzip mit berührungslos arbeitenden
Füllstandsmeßgeräten.

Derartige berührungslos arbeitende Meßgeräte werden in
einer Vielzahl von Industriezweigen eingesetzt, z.B. in der
10 verarbeitenden Industrie, in der Chemie oder in der
Lebensmittelindustrie.

Bei der Füllstandsmessung werden periodisch kurze
Sendesignale, z.B. Mikrowellen oder Ultraschallwellen,
15 mittels eines Sende- und Empfangselementes zur Oberfläche
eines Füllguts gesendet und deren an der Oberfläche
reflektierte Echosignale nach einer abstandsabhängigen
Laufzeit wieder empfangen. Es wird eine die Echoamplituden
als Funktion der Laufzeit darstellende Echofunktion
20 gebildet. Jeder Wert dieser Echofunktion entspricht der
Amplitude eines in einem bestimmten Abstand von der Antenne
reflektierten Echos.

Aus der Echofunktion wird ein Nutzecho bestimmt, das
25 wahrscheinlich der Reflexion eines Sendesignals an der
Füllgutoberfläche entspricht. Dabei wird in der Regel
angenommen, daß das Nutzecho, eine größere Amplitude
aufweist, als die übrigen Echos. Aus der Laufzeit des
Nutzechos ergibt sich bei einer bekannten
30 Ausbreitungsgeschwindigkeit der Sendesignale unmittelbar
der Abstand zwischen der Füllgutoberfläche und der Antenne.

Üblicherweise wird nicht ein empfangenes Rohsignal zur
Auswertung herangezogen, sondern dessen sogenannte

Hüllkurve. Die Hüllkurve wird erzeugt, indem das Rohsignal gleichgerichtet und gefiltert wird. Zur genauen Bestimmung einer Laufzeit des Nutzechos wird zuerst ein Maximum der Hüllkurve bestimmt.

5

Diese herkömmliche Vorgehensweise funktioniert in einer Vielzahl von Anwendungen einwandfrei. Probleme treten jedoch immer dann auf, wenn das vom Füllstand stammende Echo nicht zweifelsfrei identifiziert werden kann. Dies kann beispielsweise der Fall sein, wenn Einbauten im Behälter vorhanden sind, die die Sendesignale besser Reflektieren, als die Füllgutoberfläche.

10

In solchen Fällen kann, z.B. bei der Inbetriebnahme, dem Füllstandsmeßgerät einmal der aktuelle Füllstand vorgegeben werden. Das Füllstandsmeßgerät kann anhand des vorgegebenen Füllstandes das zugehörige Echo als Nutzecho identifizieren und z.B. durch einen geeigneten Algorithmus verfolgen. Dabei werden z.B. in jedem Meßzyklus Maxima des Echosignals oder der Echofunktion bestimmt und aufgrund der Kenntnis des im vorangegangenen Meßzyklus ermittelten Füllstandes und einer anwendungs-spezifischen maximal zu erwartenden Änderungsgeschwindigkeit des Füllstandes das Nutzecho ermittelt. Aus einer Laufzeit des so ermittelten aktuellen Nutzechos ergibt sich dann der neue Füllstand.

15

Ausgehend von der Lage des Nutzechos im vorangegangenen Meßzyklus wird ein Zeitfenster bestimmt, indem sich das Nutzecho des aktuellen Meßzykluses befinden muß. Das aktuelle Nutzecho kann jedoch nur dann in diesem Zeitfenster gefunden werden, wenn das Nutzecho des vorangegangenen Meßzykluses bestimmt werden konnte und im aktuellen Meßzyklus ein dem aktuellen Nutzecho entsprechendes Maximum gefunden werden kann.

20

25

30

Die Laufzeit des Maximums des Nutzechos ist jedoch eine Echoeigenschaft, die nicht immer bestimmt werden kann. Befindet sich der Füllstand beispielsweise in der Nähe eines fest eingebauten Störers, z.B. einer Halterung im Inneren des Behälters, so überlagern sich die Echos von dem Störer und dem Füllgut. Eine Identifizierung des Nutzechos ist dann nicht immer möglich. Ähnliche Probleme treten auf, wenn nur sporadisch in den Signalweg ragende Elemente, wie z.B. Rührer, plötzlich in der Nähe der Füllgutoberfläche im Signalweg auftauchen und die Sendesignale reflektieren, oder wenn sich die Reflektionseigenschaften des Füllguts, z.B. durch Schaumbildung auf der Oberfläche, verändern.

Es ist eine Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zur Messung eines Füllstandes eines Füllgutes in einem Behälter mit einem nach dem Laufzeitprinzip arbeitenden Füllstandsmeßgerät anzugeben, das zuverlässig arbeitet.

Dies erreicht die Erfindung durch ein Verfahren zur Messung eines Füllstandes eines Füllgutes in einem Behälter, mit einem nach dem Laufzeitprinzip arbeitenden Füllstandsmeßgerät, bei dem

- periodisch Sendesignale in Richtung des Füllgutes gesendet werden,
- deren Echosignale aufgenommen und in eine Echofunktion umgewandelt werden,
- mindestens eine Echoeigenschaft der Echofunktion bestimmt wird, und
- anhand der Echoeigenschaften mindestens einer vorherigen Messung eine Vorhersage für die bei der aktuellen Messung zu erwartenden Echoeigenschaften abgeleitet wird,
- die Echoeigenschaften der aktuellen Messung unter Einbeziehung der Vorhersage bestimmt werden, und

- anhand der Echoeigenschaften der aktuelle Füllstand bestimmt wird.

Gemäß einer Weiterbildung des Verfahrens sind die
5 Echoeigenschaften Laufzeiten von Maxima der Echofunktion, und den Maxima kann ein bekannter Reflektor im Inneren des Behälters, insb. eine Füllgutoberfläche, ein Boden des Behälters oder ein fest eingebauter Störer, zugeordnet werden.

10 Gemäß einer Weiterbildung des Verfahrens wird anhand der Laufzeit mindestens eines Maximums einer vorangegangenen Messung eine Vorhersage für die bei der aktuellen Messung zu erwartende Laufzeit des entsprechenden Maximums
15 getroffen.

Gemäß einer Ausgestaltung des Verfahrens wird die Vorhersage getroffen, daß die zu erwartenden Laufzeiten der Maxima gleich den Laufzeiten der entsprechenden Maxima der
20 unmittelbar vorangeganen Messung sind.

Gemäß einer anderen Ausgestaltung des Verfahrens wird die Vorhersage für die Laufzeit der Maxima ermittelt, indem
25 anhand von mindestens zwei vorangegangen Messungen eine momentane Änderungsgeschwindigkeit der Laufzeit berechnet und die zu erwartende Laufzeit anhand dieser Geschwindigkeit extrapoliert wird.

Gemäß einer weiteren Ausgestaltung des Verfahrens wird die
30 Vorhersage für die Laufzeit der Maxima ermittelt, indem anhand von mindestens drei vorangegangen Messungen eine momentane Beschleunigung und eine momentane Änderungsgeschwindigkeit der Laufzeit berechnet und die zu

erwartende Laufzeit anhand der Beschleunigung und der Geschwindigkeit extrapoliert wird.

Gemäß einer Weiterbildung des Verfahrens ist eine
5 Echoeigenschaft die Laufzeit des an der Füllgutoberfläche reflektierten Nutzechos. Es wird anhand mindestens einer vorangegangenen Messung die bei der aktuellen Messung zu erwartende Laufzeit des an der Füllgutoberfläche reflektierten Nutzechos bestimmt und dasjenige Maximum der
10 aktuellen Echofunktion bestimmt wird, dessen Laufzeit die geringste Abweichung zu der vorhergesagten Laufzeit des an der Füllgutoberfläche reflektierten Nutzechos aufweist.
Anhand der Laufzeit dieses Maximum wird der aktuelle Füllstand bestimmt.

15 Gemäß einer Weiterbildung des Verfahrens ist eine Echoeigenschaft die Laufzeit des am Boden des Behälters reflektierten Echos. Es wird anhand mindestens einer vorangegangenen Messung die bei der aktuellen Messung zu erwartende Laufzeit des am Boden des Behälters reflektierten Echos bestimmt und dasjenige Maximum der aktuellen Echofunktion bestimmt, dessen Laufzeit die geringste Abweichung zu der vorhergesagten Laufzeit des am Boden des Behälters reflektierten Echos aufweist. Unter
20 Einbeziehung der Laufzeit dieses Maximum wird der aktuelle Füllstand bestimmt.

25 Gemäß einer Weiterbildung der letztgenannten Weiterbildung des Verfahrens wird aus der Laufzeit des aktuellen am Boden reflektierten Echos ein Schätzwert für die Laufzeit des aktuellen Nutzechos berechnet. Es wird dasjenige Maximum der aktuellen Echofunktion bestimmt, dessen Laufzeit die geringste Abweichung zu dem Schätzwert aufweist, und anhand

der Laufzeit dieses Maximum der aktuelle Füllstand bestimmt.

5 Gemäß einer weiteren Weiterbildung werden die Meßergebnisse fortlaufend auf deren Plausibilität hin überprüft.

10 Die Erfindung und weitere Vorteile werden nun anhand der Figuren der Zeichnung, in denen ein Ausführungsbeispiel dargestellt ist, näher erläutert; gleiche Elemente sind in den Figuren mit gleichen Bezugszeichen versehen.

15 Fig. 1 zeigt eine Anordnung zur Füllstandsmessung mit einem nach dem Laufzeitprinzip arbeitenden Füllstandsmeßgerät;

Fig. 2 zeigt ein Beispiel für eine mit der in Fig. 1 dargestellten Anordnung aufgenommenen Echofunktion; und

20 Fig. 3 zeigt ein Beispiel für eine zeitliche Abfolge von Echofunktionen, die auftritt, wenn sich ein anfänglich voller Behälter stetig entleert.

25 Fig. 1 zeigt eine Anordnung zur Füllstandsmessung. Es ist ein mit einem Füllgut 1 gefüllter Behälter 3 dargestellt. Auf dem Behälter 3 ist ein nach dem Laufzeitprinzip arbeitendes Füllstandsmeßgerät 5 angeordnet. Als Füllstandsmeßgerät 5 eignet sich z.B. ein mit Mikrowellen 30 arbeitendes Füllstandsmeßgerät oder ein mit Ultraschall arbeitendes Füllstandsmeßgerät. Das Füllstandsmeßgerät 5 dient dazu, einen Füllstand 7 des Füllguts 1 im Behälter zu messen. In dem Behälter 3 ist exemplarisch ein Störer 9 eingezeichnet. Störer 9 sind z.B. feste Einbauten im

Behälter 3 an der Reflektionen auftreten können. Das hier nur ein einziger Störer 9 vorgesehen ist, dient dem leichteren Verständnis und der Übersichtlichkeit.

Selbstverständlich können in realen Meßsituationen sehr

5 viel mehr Störer vorhanden sein.

Das Füllstandsmeßgerät 5 weist mindestens ein Sende- und Empfangselement 11 zum Senden von Sendesignalen S und zum Empfangen von Echosignalen E auf. In dem dargestellten

10 Ausführungsbeispiel ist ein mit Mikrowellen arbeitendes Füllstandsmeßgerät dargestellt, das als Sende- und Empfangselement 11 eine einzige Antenne 11 aufweist, die sowohl sendet als auch empfängt. Alternativ können aber auch eine Antenne zum Senden und mindestens eine weitere 15 Antenne zum Empfangen vorgesehen sein. Bei einem mit Ultraschall arbeitenden Füllstandsmeßgerät wäre als Sende- und Empfangselement anstelle der Antenne ein Ultraschallsensor mit einem elektromechanischen Wandler, z.B. einem piezoelektrischen Element, vorzusehen.

20

Die Sendesignale S werden in Richtung des Füllguts 1 gesendet und an einer Füllgutoberfläche 7, aber auch am Behälter 3 und an im Behälter 3 befindlichen Störern 9 reflektiert. Die Überlagerung dieser Reflektionen bildet das 25 Echosignal E.

Bei der Füllstandsmessung nach dem Laufzeitprinzip werden periodisch Sendesignale S, z.B. kurze Mikrowellen- oder Ultraschallpulse, in Richtung eines Füllgutes 1

30 ausgesendet. Es werden deren Echosignale E der Sendepulse S aufgenommen und einer Signalverarbeitung 13 zugeführt, die dazu dient aus den empfangenen Echosignalen E eine Echofunktion $A(t)$ abzuleiten, die Amplituden A des Echosignals E in Abhängigkeit von deren Laufzeit t enthält.

In Fig. 2 ist ein Beispiel einer solchen Echofunktion für die Anordnung von Fig. 1 dargestellt. Die Echofunktion weist drei ausgeprägte Maxima auf. Diese Maxima sind Echos L, S, B von denen das Echo L auf eine Reflektion an der Füllgutoberfläche, das Echo S auf eine Reflektion an dem Störer 9 und das Echo B auf eine Reflektion an einem Boden 15 des Behälters 3 zurückzuführen sind. Die Echos L, S, B treten nach Laufzeiten t_L , t_S , t_B auf, die einer Entfernung zwischen dem Sende- und Empfangselement 11 und der Füllgutoberfläche, bzw. dem Störer 9 und dem Boden 15 entsprechen.

Gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Messung des Füllstandes des Füllgutes 1 in dem Behälter 3, sendet das nach dem Laufzeitprinzip arbeitende Füllstandsmeßgerät 5, periodisch Sendesignale S in Richtung des Füllgutes 1. Es werden Echosignale E der Sendesignale S aufgenommen und in die Echofunktion A(t) umgewandelt.

In Fig. 3 ist in den Abbildungen 1 bis n ein Beispiel für eine zeitliche Entwicklung von Echofunktionen A(t) dargestellt. Das Beispiel stellt eine Abfolge dar, die auftritt, wenn sich ein anfänglich voller Behälter 3 stetig entleert. Abb. 0 entspricht dabei einem vollen Behälter 3 und Abb. n einem leeren Behälter 3.

Erfindungsgemäß wird in jedem Meßzyklus mindestens eine Echoeigenschaft der Echofunktion A(t) bestimmt. Die Echoeigenschaften sind vorzugsweise Laufzeiten t_L , t_S , t_B von Maxima der Echofunktion A(t), denen ein bekannter Reflektor im Inneren des Behälters 3, insb. die Füllgutoberfläche, der Boden 15 des Behälters 3 oder ein

fest eingebauter Störer, wie z.B. der Störer 9, zugeordnet werden kann.

Neben der Laufzeit eines Echos bilden dessen Amplitude,
5 dessen Form, sowie dessen zeitlicher Verlauf weitere Echoeigenschaften, die im Rahmen des Verfahrens zur Zuordnung eines Echos zu einem Reflektor eingesetzt werden können.

- 10 Damit die Echos anhand der Echoeigenschaften zweifelsfrei einem bestimmten Reflektor zugeordnet werden können, wird bei einer Inbetriebnahme des Füllstandsmeßgeräts 5 zu Beginn des Verfahrens eine Initialisierung vorgenommen. Dabei werden die bei der Initialisierung vorliegenden
15 Echoeigenschaften, hier t_{l0} , t_{so} , t_{Bo} , einmal ermittelt und im Füllstandsmeßgerät 5 abgespeichert. Entsprechend wird auch bei anderen Echoeigenschaften, z.B. der Amplitude, der Form und/oder dem zeitlichen Verlauf der Echos, verfahren.
- 20 In dem in Fig. 3 dargestellten Beispiel entspricht die Abbildung 0 der Echofunktion $A(t)$, die bei der Inbetriebnahme aufgezeichnet wurde. Die Bestimmung der Echoeigenschaften der bei der Initialisierung aufgezeichneten Echofunktion $A(t)$ erfolgt beispielsweise
25 indem der bei der Inbetriebnahme vorliegende Füllstand 7, sowie der Abstand des Bodens 15 des Behälter 3 vom Sende- und Empfangselement 11 und der Abstand des Störers 9 vom Sende- und Empfangselement 11 oder vom Boden 15 von einem Anwender vorgegeben werden.
- 30 Der Abstand des Bodens 15 des Behälter 3 vom Sende- und Empfangselement 11 und der Abstand des Störers 9 vom Sende- und Empfangselement 11 oder vom Boden 15 sind dem Anwender in der Regel bekannt und können z.B. über eine

Kommunikationsschnittstelle 16 oder ein in den Figuren nicht dargestelltes Vorortdisplay eingespeist und in einem Speicher 17 abgelegt werden.

- 5 Der Füllstand kann sofern er bei der Inbetriebnahme nicht ohnehin bekannt ist z.B. durch Loten ermittelt werden. Alternativ kann der aktuelle Füllstand 7 auch durch eine eingangs beschriebene herkömmliche Füllstandsmessung mit dem Füllstandsmeßgerät 5 ermittelt werden. Bei letzterer
- 10 Methode sind vorzugsweise hohe Sicherheitsansprüche an die Füllstandsmessung zu stellen. Dabei wird der gemessene Füllstand nur dann als aktueller Füllstand 7 abgespeichert, wenn das zugehörige Nutzecho zweifelsfrei identifiziert wurde. Als Bewertungskriterium für die zweifelsfreie
- 15 Identifizierung eignet sich beispielsweise die Amplitude des Nutzechos. Übersteigt diese einen vorgegebenen Schwellwert und ist sie deutlich größer als Amplituden der Echofunktion in der Umgebung des Nutzechos, so kann davon ausgegangen werden, daß das richtige Echo als Nutzecho
- 20 ermittelt wurde. Anhand der vorgegebenen Daten können die Echos L, S, B der Echofunktion A(t) eindeutig identifiziert werden und die Laufzeiten t_{L0} , t_{S0} , t_{B0} der zugehörigen Maxima bestimmt und abgespeichert werden.
- 25 Der Füllstand 7 kann natürlich auch durch andere Verfahren ermittelt werden. So ist beispielsweise in der am 20. Dezember 2002 angemeldeten Deutschen Patentanmeldung mit der Anmeldenummer 10260962.4 ein Verfahren beschrieben, bei dem durch Aufzeichnung von Echofunktionen bei verschiedenen
- 30 Füllständen 7 eine Tabelle aufgestellt wird, anhand derer das vom Füllgut 1 stammende Echo eindeutig identifiziert werden kann.

Im Anschluß an diese Initialisierung kann der Messbetrieb aufgenommen werden. Die bei der Initialisierung ermittelten Echoeigenschaften stehen bei der ersten Messung als Echoeigenschaften der, der aktuellen Messung unmittelbar vorangegangenen Messung zur Verfügung.

Im Messbetrieb wird anhand der Echoeigenschaften mindestens einer vorherigen Messung eine Vorhersage für die bei der aktuellen Messung zu erwartenden Echoeigenschaften abgeleitet.

Dabei wird vorzugsweise anhand der Laufzeit mindestens eines Maximums einer vorangegangenen Messung eine Vorhersage für die bei der aktuellen Messung zu erwartende Laufzeit des entsprechenden Maximums getroffen.

Entsprechend wird bei Echoeigenschaften, wie z.B. Amplitude, Form und/oder zeitlicher Verlauf anhand der entsprechenden Daten mindestens einer vorangegangenen Messung eine Vorhersage für die bei der aktuellen Messung zu erwartenden Echoeigenschaften getroffen.

In dem in Fig. 3 dargestellten Beispiel wird bei der ersten auf die Initialisierung folgenden Messung folglich anhand der als Echoeigenschaften bei der Initialisierung ermittelten Laufzeiten t_{L0} , t_{S0} , t_{B0} eine Vorhersage V für die bei der ersten Messung zu erwartenden Laufzeiten T_{L1} , T_{S1} , T_{B1} der entsprechenden Maxima getroffen.

Im einfachsten Fall besteht die Vorhersage V darin, daß die zu erwartenden Laufzeiten T_{L1} , T_{S1} , T_{B1} gleich den Laufzeiten der entsprechenden Maxima der unmittelbar vorangegangenen Messung sind.

$$\begin{aligned} V: \quad T_{L1} &= t_{L0} \\ T_{S1} &= t_{S0} \\ T_{B1} &= t_{B0} \end{aligned}$$

- 5 Dabei kann die Vorhersage V wie hier beschrieben auf der unmittelbar vorangegangen Messung beruhen. Alternativ kann aber auch eine weiter zurückliegende Messung als Ausgangspunkt eingesetzt werden. Ebenso ist es möglich die Vorhersage V aus mehreren vorangegangenen Messungen abzuleiten. Die Vorhersage V für die zu erwartenden Laufzeiten T_{Li} , T_{Si} , T_{Bi} kann z.B. gleich einem Mittelwert der Laufzeiten t_L , t_S , t_B der entsprechenden Maxima mehrerer vorangegangener Messungen gesetzt werden.
- 10 15 Liegen die Echoeigenschaften von zwei der aktuellen Messung vorangehenden Messungen vor, kann die Vorhersage V für die Laufzeiten T_{Li} , T_{Si} , T_{Bi} der Maxima ermittelt werden, indem anhand der letzten beiden vorangegangenen Messungen für jede Laufzeit T_{Li} , T_{Si} , T_{Bi} eine momentane Änderungsgeschwindigkeit $v(T_{Li})$, $v(T_{Si})$, $v(T_{Bi})$ der Laufzeiten T_{Li} , T_{Si} , T_{Bi} berechnet und die zu erwartenden Laufzeiten T_{Li} , T_{Si} , T_{Bi} anhand dieser Geschwindigkeiten $v(T_{Li})$, $v(T_{Si})$, $v(T_{Bi})$ extrapoliert werden.

20 25 Dies wird nachfolgend beispielhaft anhand des in Fig. 3 dargestellten Ablaufs erläutert.

Sind aus der Initialisierung (Abb. 0) die Laufzeiten t_{L0} , t_{S0} , t_{B0} und aus der ersten Messung (Abb. 1) die Laufzeiten t_{L1} , t_{S1} , t_{B1} bekannt, so ergeben sich daraus die aktuellen Änderungsgeschwindigkeiten $v(T_{L2})$, $v(T_{S2})$, $v(T_{B2})$ mit

$$v(T_{L2}): = \frac{t_{L1} - t_{L0}}{\Delta t}$$

$$v(T_{s2}) := \frac{t_{s1} - t_{s0}}{\Delta t}$$

$$v(T_{B2}) := \frac{t_{B1} - t_{B0}}{\Delta t}$$

5

wobei Δt ein zwischen zwei Messungen, hier der Initialisierung und der ersten Messung, verstrichenes Zeitintervall bezeichnet.

10

Die Extrapolation ergibt dann die folgende Vorhersage V:

$$V: T_{L2} := t_{L1} + v(T_{L2}) \Delta t$$

$$T_{s2} := t_{s1} + v(T_{s2}) \Delta t$$

15

$$T_{B2} := t_{B1} + v(T_{B2}) \Delta t$$

wobei Δt ein zwischen zwei Messungen, hier der ersten und der zweiten Messung, verstrichenes Zeitintervall bezeichnet.

20

Für die i-te Messung gilt analog:

$$V: T_{Li} := t_{L,i-1} + v(T_{Li}) \Delta t$$

$$T_{si} := t_{s,i-1} + v(T_{si}) \Delta t$$

$$T_{Bi} := t_{B,i-1} + v(T_{Bi}) \Delta t$$

25

wobei Δt ein zwischen zwei Messungen, hier der i-ten und der i-1-ten Messung, verstrichenes Zeitintervall bezeichnet.

30

Für die aktuellen Änderungsgeschwindigkeiten $v(T_{Li})$, $v(T_{si})$, $v(T_{Bi})$ gilt analog.

$$v(T_{Li}) := \frac{t_{L,i-1} - t_{L,i-2}}{\Delta t}$$

$$v(T_{Si}) := \frac{t_{S,i-1} - t_{S,i-2}}{\Delta t}$$

5

$$v(T_{Bi}) := \frac{t_{B,i-1} - t_{B,i-2}}{\Delta t}$$

10

Auch hier gilt analog, daß die beiden Messungen, auf denen die Vorhersage V beruht, der aktuellen Messung nicht unmittelbar vorangehen müssen. Auch müssen die beiden vorangegangenen Messungen nicht unmittelbar aufeinander folgen. Es genügt, wenn zwei beliebige vorangegangene

15

Messungen vorliegen und ein zwischen den beiden Messungen liegendes Zeitintervall bekannt ist.

Liegen Ergebnisse von mindestens drei vorangegangenen Messungen vor, so kann die Vorhersage V für Laufzeiten T_{Li} ,

20

T_{Si} , T_{Bi} ermittelt werden, indem anhand der letzten drei vorangegangenen Messungen eine momentane Beschleunigung $a(T_{Li})$, $a(T_{Si})$, $a(T_{Bi})$ und eine momentane

Änderungsgeschwindigkeit $v(T_{Li})$, $v(T_{Si})$, $v(T_{Bi})$ der Laufzeiten berechnet und die zu erwartenden Laufzeiten T_{Li} , T_{Si} , T_{Bi} anhand der Beschleunigungen $a(T_{Li})$, $a(T_{Si})$, $a(T_{Bi})$ und der Geschwindigkeiten $v(T_{Li})$, $v(T_{Si})$, $v(T_{Bi})$ extrapoliert werden.

Damit lautet die Vorhersage V wie folgt:

30

$$V: \quad T_{Li} := t_{L,i-1} + v(T_{Li}) \Delta t + \frac{1}{2} a(T_{Li}) (\Delta t)^2$$

$$T_{Si} := t_{S,i-1} + v(T_{Si}) \Delta t + \frac{1}{2} a(T_{Si}) (\Delta t)^2$$

$$T_{Bi} := t_{B,i-1} + v(T_{Bi}) \Delta t + \frac{1}{2} a(T_{Bi}) (\Delta t)^2$$

wobei für die aktuellen Beschleunigungen $a(T_{Li})$, $a(T_{Si})$, $a(T_{Bi})$ gilt:

$$5 \quad a(T_{Li}) := \frac{t_{L,i-1} - 2 t_{L,i-2} + t_{L,i-3}}{(\Delta t)^2}$$

$$a(T_{Si}) := \frac{t_{S,i-1} - 2 t_{S,i-2} + t_{S,i-3}}{(\Delta t)^2}$$

$$10 \quad a(T_{Bi}) := \frac{t_{B,i-1} - 2 t_{B,i-2} + t_{B,i-3}}{(\Delta t)^2}$$

Auch hier gilt analog, daß die drei Messungen, auf denen die Vorhersage V beruht, der aktuellen Messung nicht unmittelbar vorangehen müssen. Auch müssen die drei vorangegangenen Messungen nicht unmittelbar aufeinander folgen. Es genügt, wenn drei beliebige vorangegangene Messungen vorliegen und die zwischen den Messungen liegenden Zeitintervalle bekannt sind.

20 Es ist allerdings in allen beschriebenen Fällen bei der Auswahl der vorangegangenen Messungen zu beachten, daß der Zeitraum zwischen den Messungen und der aktuellen Messung nicht zu groß wird. Maßstab ist hierfür eine Zeitskala auf der sich die Laufzeiten, deren Änderungsgeschwindigkeiten und deren Beschleunigungen ändern.

Bei den beschriebenen Ausführungsbeispielen sind bis zu drei vorangegangene Messungen in die Vorhersagen einbezogen worden. Es können aber auch mehr vorangegangene Messungen einbezogen werden um die Vorhersagen abzuleiten.

Desweiteren kann auch noch die Beschleunigungsänderung und Modelle höherer Ordnungen zur Berechnung einbezogen werden,

wenn genügend Meßdaten zur Verfügung stehen und die Art der Füllstandsänderung dies benötigt.

- Anschließend werden die Echoeigenschaften der aktuellen Messung i, hier die Laufzeiten t_{Li} , t_{Si} , t_{Bi} , unter Einbeziehung der Vorhersagen V bestimmt. Für das angeführte Beispiel für die erste Messung bedeutet dies, daß die Maxima, hier M_1 , M_2 und M_3 , und die zugehörigen Laufzeiten, hier t_{M1} , t_{M2} und t_{M3} der in Abb. 1 von Fig. 3 dargestellten Echofunktion $A(t)$ der aktuellen Messung bestimmt werden.
- Die Laufzeiten werden mit den Laufzeiten der Vorhersage verglichen. Der Vergleich erfolgt beispielsweise durch Differenzbildung, indem für jede zu erwartende Laufzeit T_{Li} , T_{Si} , T_{Bi} die Differenz zwischen jeder der Laufzeiten t_{M1} , t_{M2} und t_{M3} und der zu erwartenden Laufzeit T_{Li} , T_{Si} bzw. T_{Bi} berechnet wird. Es wird für jede zu erwartende Laufzeit T_{Li} , T_{Si} , T_{Bi} diejenige Laufzeit t_{M1} , t_{M2} oder t_{M3} bestimmt, bei der die Differenz minimal ist.
- Es können aber auch andere zum Vergleich geeignete Algorithmen eingesetzt werden. Ist z.B. die Form des Echos eine relevante Echoeigenschaft, so kann ein Formvergleich z.B. durch Minimierung der Summe aller Abstandsquadrate erfolgen.
- Statt jede der Laufzeiten t_{M1} , t_{M2} und t_{M3} mit jeder zu erwartenden Laufzeit T_{Li} , T_{Si} bzw. T_{Bi} zu vergleichen kann für jede zu erwartende Laufzeit T_{Li} , T_{Si} bzw. T_{Bi} ein Zeitfenster das die jeweilige zu erwartende Laufzeit T_{Li} , T_{Si} bzw. T_{Bi} einschließt. Es genügt dann nur diejenigen der Laufzeiten t_{M1} , t_{M2} und t_{M3} mit der zugehörigen zu erwartenden Laufzeit zu vergleichen, die innerhalb des jeweiligen Zeitfensters liegen.

In dem dargestellten Beispiel weist die Laufzeit t_{M1} die geringste Differenz zu der für das Nutzecho vorhergesagten Laufzeit T_{L1} auf. Ist der Betrag der Differenz $T_{L1} - t_{M1}$ geringer als ein vorgegebener Schwellwert, so wird das zugehörige Maximum M1 als Nutzecho L der aktuellen Messung erkannt. Entsprechend wird die zugehörige Laufzeit t_{M1} als Laufzeit t_{L1} des Nutzechos L der aktuellen Messung erkannt und abgespeichert.

- 10 Auf die gleiche Weise werden alle weiteren Echoeigenschaften der aktuellen Messung bestimmt. Entsprechend wird das Maximum M2 als Echo S des Störers 9 und das Maximum M3 als Echo des Bodens 15 erkannt und die zugehörige Laufzeit t_{M2} Laufzeit t_{S1} des Echos S des Störers S und die Laufzeit t_{M3} als Laufzeit t_{B1} des Echos B des Bodens 15 der aktuellen Messung bewertet.

Auf analoge Weise wird in jedem Meßzyklus verfahren. Dabei kann die Vorhersage V ab der ersten Messung auf der Basis einer vorangegangenen Messung, ab der dritten Messung auf der Basis von drei vorangegangenen Messungen und berechnet werden.

Alternativ zu den beschriebenen Extrapolationsalgorithmen können anhand der aus den vorangegangen ermittelten Daten auch andere Verfahren für die Extrapolation der zu erwartenden Echoeigenschaften herangezogen werden. So kann beispielsweise anhand der aus den vorangegangenen Messungen bekannten zeitlichen Entwicklung eine Funktion bestimmt werden, die den zeitlichen Verlauf annähert. Die Funktion kann dabei flexibel an die aktuellen Gegebenheiten, die sich aus der Historie ergeben, angepaßt werden. Die Vorhersage V wird anhand der Funktion bestimmt.

Nachfolgend wird anhand der Echoeigenschaften der Füllstand bestimmt. Konnte beispielsweise in der i-ten Messung die Laufzeit t_{Li} des Nutzechos L als Echoeigenschaft ermittelt werden, so ergibt sich daraus die Höhe H_L des Füllstands 7 im Behälter 3 gemäß folgender Formel:

$$H_L(t_{Li}) = H - \frac{1}{2} (v t_{Li})$$

worin

H der Abstand zwischen dem Sende- und Empfangselement

10 11 und dem Boden des Behälters 3,

H_L die Höhe des Füllstandes 7, und

v die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Signale bedeuten.

15 Konnte zusätzlich die Laufzeit t_{Bi} des vom Boden 15 des Behälters 3 stammenden Echos als Echoeigenschaft ermittelt werden, so kann diese Echoeigenschaft ebenfalls zur Bestimmung der Höhe H_L des Füllstandes 7 herangezogen werden. Diese ergibt sich gemäß der Formel:

20

$$H_L(t_{Bi}) := \frac{t_{Bi} v v_L - 2 v_L H}{2(v - v_L)}$$

25 wobei

t_{Bi} die Laufzeit des vom Boden 15 des Behälters 3 stammenden Echos B der aktuellen Messung,

H der Abstand zwischen dem Sende- und Empfangselement 11 und dem Boden des Behälters 3,

30 H_L die Höhe des Füllstandes 7,

v die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Signale im freien Raum, und

v_L die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Signale im Füllgut bedeuten.

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit v_L der Signale im Füllgut kann, sofern sie nicht aufgrund der Kenntnis der physikalischen Eigenschaften des Füllguts bekannt ist,
5 anhand einer vorherigen Messung, bei der der Behälter 15 zumindest teilweise befüllt war und sowohl das Nutzecho L als auch das vom Boden 15 des Behälters 3 stammende Echo B sowie deren Laufzeiten t_L und t_B identifiziert werden konnten gemäß folgender Formel berechnet werden:

10

$$v_L := \frac{2H - v t_B}{t_B - t_L}$$

15 wobei:

- t_B die Laufzeit des vom Boden 15 des Behälters 3 stammenden Echos B einer vorangegangenen Messung,
 - t_L die Laufzeit des Nutzechos L einer vorangegangenen Messung,
 - 20 H der Abstand zwischen dem Sende- und Empfangselement 11 und dem Boden des Behälters 3,
 - v die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Signale im freien Raum, und
 - v_L die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Signale im Füllgut
- 25 bedeuten.

Sofern sich die Ausbreitungsgeschwindigkeit v_L der Signale im Füllgut 1 nicht ändert, genügt es diese einmal zu berechnen. Im dargestellten Ausführungsbeispiel kann dies
30 beispielsweise unmittelbar anhand der bei der Initialisierung ermittelten Echoeigenschaften erfolgen. Daraus ergibt sich die Ausbreitungsgeschwindigkeit v_L gemäß obiger Formel zu:

$$v_L := \frac{2 H - v t_{L0}}{t_{B0} - t_{L0}}$$

5 Können Änderungen der Ausbreitungsgeschwindigkeit v_L auftreten, so muß dies Größe regelmäßig bestimmt werden. Solche Änderungen sind zu erwarten, wenn sich die physikalischen Eigenschaften, wie z.B. Dichte, Material oder Dielektrizitätskonstante, des Füllguts 1 ändern können.

10

Zusätzlich kann die Laufzeit t_{si} des vom Störer 9 stammenden Echos als Echoeigenschaft ermittelt werden. Diese Echoeigenschaft eignet sich immer dann zur Bestimmung der Höhe H_L des Füllstandes 7, wenn der Füllstand 7 15 oberhalb des Störers 9 liegt. Ob dies der Fall ist, kann anhand der in der vorherigen Messung bestimmten Höhe H_L des Füllstandes 7 und einer vorgegebenen maximal möglichen Änderungsgeschwindigkeit v_{max} des Füllstandes 7 bestimmt werden. Die maximal mögliche Änderungs-geschwindigkeit v_{max} 20 des Füllstandes 7 ist anwendungs-spezifisch und muß entweder vom Anwender im Rahmen der Initialisierung angegeben und im Füllstandsmeßgerät 5 abgespeichert werden, oder ermittelt werden.

25 Gilt für die vorangegangene Messung

$$H_s < H_L - v_{max} \Delta t$$

wobei

30 H_s die Höhe des Störers 9 im Behälter 3,
 H_L die Höhe des in der vorangegangenen Messung bestimmten Füllstandes,
 v_{max} die vorgegebene maximal mögliche Änderungsgeschwindigkeit des Füllstandes 7, und

Δt das zwischen der vorangegangenen und der aktuellen Messung liegende Zeitintervall bedeuten.

- so kann anhand der als Echoeigenschaft der aktuellen 5 Messung bestimmten Laufzeit t_{si} des vom Störer 9 stammenden Echos S die Höhe H_L des aktuellen Füllstands 7 gemäß folgender Beziehung berechnet werden:

$$H_L(t_{si}) = \frac{v v_L t_{si} + 2 v H_s - 2 v_L H}{2(v - v_L)}$$

10

Bei allen anderen Füllständen 7, bei denen sich die Höhe H_L des Füllstandes 7 zwischen dem Störer 9 und dem Boden 15 des Behälters 3 befindet, weist die Laufzeit t_s des vom 15 Störer 9 erzeugten Echos S einen konstanten Wert auf und kann nicht zur Füllstandsbestimmung herangezogen werden. Sie eignet sich jedoch zur Überprüfung der Meßgenauigkeit und der Plausibilität der erzielten Meßergebnisse.

- 20 Bei dem Verfahren in seiner einfachsten Form wird lediglich eine einzige Echoeigenschaft der Echofunktion herangezogen. Die Eigenschaft ist die Laufzeit t_L des Nutzechos L oder die Laufzeit t_B des vom Boden 15 stammenden Echos B. In jedem Meßzyklus wird anhand der entsprechenden 25 Echoeigenschaft mindestens einer vorherigen Messung auf die oben beschriebene Weise eine Vorhersage V für die bei der aktuellen Messung zu erwartenden Echoeigenschaft abgeleitet. Anschließend wird die Echoeigenschaft der aktuellen Messung unter Einbeziehung der Vorhersage V bestimmt, und anhand der Echoeigenschaft wie oben erläutert 30 der aktuelle Füllstand bestimmt, indem anhand mindestens einer vorangegangenen Messung die bei der aktuellen Messung zu erwartende Laufzeit T_{Li} des an der Füllgutoberfläche reflektierten Nutzechos L bestimmt wird, dasjenige Maximum

der aktuellen Echofunktion bestimmt wird, dessen Laufzeit die geringste Abweichung zu der vorhergesagten Laufzeit des an der Füllgutoberfläche reflektierten Nutzechos aufweist, und anhand der Laufzeit dieses Maximum wie oben erläutert

5 der aktuelle Füllstand bestimmt wird.

Kann die Echoeigenschaft der aktuellen Messung nicht bestimmt werden, z.B. weil ein Rührer vorübergehend in den Signalweg ragt, so kann die Vorhersage V an die Stelle der 10 aktuellen Echoeigenschaft gesetzt werden. Der aktuelle Füllstand wird gleich dem sich aus der Vorhersage V ergebenden Füllstand 7 gesetzt. Für die nachfolgende Messung tritt die Vorhersage V an die Stelle der aus der vorangehenden Messung bekannten Echoeigenschaft.

15

Kann die Echoeigenschaft in einer vorgegebenen Anzahl aufeinander folgender Messungen nicht bestimmt werden, so wird vorzugsweise ein Alarm ausgelöst und das Verfahren erneut gestartet, wobei die eingangs beschriebene

20

Initialisierung erneut durchzuführen ist.

Vorzugsweise wird bei dem erfindungsgemäßen Verfahren mindestens eine weitere Echoeigenschaft der Echofunktion herangezogen. Beispielsweise können die Echoeigenschaften:

25

Laufzeit t_L des Nutzechos L und Laufzeit t_B des vom Boden 15 stammenden Echos B herangezogen werden. In jedem Meßzyklus wird anhand der entsprechenden Echoeigenschaften mindestens einer vorherigen Messung auf die oben beschriebene Weise eine Vorhersage V für die bei der

30

aktuellen Messung zu erwartenden Echoeigenschaften abgeleitet. Anschließend werden die Echoeigenschaften der aktuellen Messung unter Einbeziehung der Vorhersage V bestimmt. Hier lässt sich anhand jeder der einbezogenen

Echoeigenschaften wie oben erläutert der aktuelle Füllstand bestimmen.

Der aktuelle Füllstand kann wahlweise gleich dem anhand der 5 Echoeigenschaft Laufzeit t_L des Nutzechos L oder Laufzeit t_B des vom Boden 15 stammenden Echos B bestimmten Füllstandes gesetzt werden.

10 Können beide Echoeigenschaften bestimmt werden, kann eingestellt werden, welcher Echoeigenschaft zur Bestimmung des Füllstands 7 der Vorzug gegeben werden soll. Die Auswahl kann auch in Abhängigkeit von der Höhe des aktuellen Füllstands 7 getroffen werden.

15 Kann eine der Echoeigenschaften der aktuellen Messung nicht bestimmt werden, so wird der Füllstand 7 anhand der übrigen bestimmbaren Echoeigenschaften bestimmt werden. Der aktuelle Füllstand wird gleich dem sich aus den ermittelten Echoeigenschaften ergebenden ergebenden Füllstand 7 gesetzt.

20 Für die dieser aktuellen Messung nachfolgende Messung treten die Ergebnisse der Vorhersage V an die Stelle der nicht ermittelten Echoeigenschaften. Für die nachfolgende Messung werden sie als aus der vorangehenden Messung 25 bekannte Echoeigenschaft angesetzt.

30 Kann beispielsweise bei einer aktuellen Messung i nur die Laufzeit t_{Bi} des vom Boden 15 stammenden Echos B als Echoeigenschaft der aktuellen Mesung bestimmt werden, indem anhand mindestens einer vorangegangenen Messung die bei der aktuellen Messung zu erwartende Laufzeit T_{Bi} des am Boden 15 des Behälters 3 reflektierten Echos bestimmt wird, und dasjenige Maximum der aktuellen Echofunktion bestimmt wird, dessen Laufzeit die geringste Abweichung zu der

vorhergesagten Laufzeit t_{Bi} des am Boden 15 des Behälters 3 reflektierten Echos aufweist, so wird unter Einbeziehung der Laufzeit t_{Bi} dieses Maximum der aktuelle Füllstand 7 bestimmt.

5

Dies kann unmittelbar unter Verwendung der oben angegebenen Formel für die Berechnung der Höhe H_L des Füllstandes 7 als Funktion Laufzeit t_{Bi} erfolgen.

10

Weiter kann anhand der Laufzeit t_{Bi} des aktuellen am Boden 15 reflektierten Echos B ein Schätzwert $T_{LX}(t_{Bi})$ für die Laufzeit des aktuellen Nutzechos L berechnet werden.

15

Der Schätzwert $T_{LX}(t_{Bi})$ entspricht derjenigen Laufzeit des Nutzechos, die beidem anhand der Laufzeit t_{Bi} des aktuellen am Boden 15 reflektierten Echos B bestimmten Höhe H_L des Füllstandes zu erwarten ist:

$$T_{LX}(t_{Bi}) = \frac{H}{v} - H_L(t_{Bi})$$

20

v

25

Dieser Schätzwert $T_{LX}(t_{Bi})$ tritt an die Stelle der Vorhersage V für die zu erwartende Lauftzeit T_{Li} des Nutzechos L. Es wird dasjenige Maximum der aktuellen Echofunktion bestimmt wird, dessen Laufzeit die geringste Abweichung zu dem Schätzwert $T_{LX}(t_{Bi})$ aufweist, und anhand der Laufzeit dieses Maximums der aktuelle Füllstand bestimmt.

30

Kann keine der Echoeigenschaft der aktuellen Messung bestimmt werden, z.B. weil das Sende- und Empfangselement 11 vorübergehend verdeckt ist, so kann die Vorhersage V an die Stelle der aktuellen Echoeigenschaften gesetzt werden. Der aktuelle Füllstand wird gleich dem sich aus der

Vorhersage V ergebenden Füllstand 7 gesetzt. Für die nachfolgende Messung tritt die Vorhersage V an die Stelle der aus der vorangehenden Messung bekannten Echoeigenschaften.

5

Kann keine der Echoeigenschaften in einer vorgegebenen Anzahl aufeinander folgender Messungen bestimmt werden, so wird vorzugsweise ein Alarm ausgelöst und das Verfahren erneut gestartet, wobei die eingangs beschriebene Initialisierung erneut durchzuführen ist.

10

Vorzugsweise werden die Meßergebnisse fortlaufend auf deren Plausibilität hin überprüft. Zur Plausibilitätskontrolle eignet sich besonders der Vergleich der in Abhängigkeit von den verschiedenen Echoeigenschaften bestimmten Höhen H_L des Füllstandes $H_L(t_{Li})$, $H_L(t_{Bi})$. Liegt der Füllstand 7 oberhalb des Störers 9 kann auch die Höhe $H_L(t_{si})$ als Funktion der Laufzeit t_{si} des vom Störer 9 stammenden Echos S herangezogen werden. Liegt der Füllstand 7 unterhalb des Störers 9 kann die Laufzeit t_{si} anhand der bei der Initialisierung aufgenommenen Daten auf deren Richtigkeit überprüft werden. Daraus ergibt sich eine Kontrollmöglichkeit für die Meßgenauigkeit. Ebenso kann eine Plausibilitätskontrolle vorgenommen werden. Ergibt die Laufzeit t_{si} des vom Störer 9 stammenden Echos S der aktuellen Messung, daß der Störer 9 nicht vom Füllgut 1 überdeckt ist, so muß die Höhe H_L des Füllstandes 7 unterhalb der Einbauhöhe H_S des Störers 9 liegen. Ist dies nicht der Fall, so kann als Ergebnis dieser Plausibilitätskontrolle z.B. eine Fehlermeldung und/oder ein Alarm ausgelöst werden.

In der Internationalen Patentanmeldung mit der Anmeldenummer WO/EP02/08368, die von der Anmelderin am

26.07.2002 eingereicht wurde, ist eine Vielzahl von physikalischen Zusammenhängen beschrieben, die bei der Füllstandsmessung auftreten können. Es ist dort angegeben, wie unter Ausnutzung der Kenntnis dieser Zusammenhänge der Füllstand bestimmt werden kann. Diese Zusammenhänge, sowie die daraus abgeleiteten Füllstandsbestimmungen können bei dem hier beschriebenen erfindungsgemäßen Verfahren zur Plausibilitätskontrolle herangezogen werden.

- 5 10 Bei Bedarf können ausgewählte Echoeigenschaften ergänzt, ersetzt oder gestrichen werden.

15 Das beschriebene Verfahren kann als eigenständiges Meßverfahren eingesetzt werden, es kann aber auch parallel zu einem herkömmlichen Meßverfahren eingesetzt werden.

- 15 20 Es ermöglicht eine erhöhte Meßsicherheit, da der Füllstand nicht nur anhand der aktuellen Messung bestimmt wird, sondern dessen historischer Verlauf mit einbezogen wird. Diese Form der Echoverfolgung liefert auch dann noch zuverlässige Messergebnisse, wenn das Nutzecho kurzzeitig nicht gefunden werden kann. Zuverlässigen Messungen sind anhand der Verfahrens auch dann noch möglich, wenn kurzzeitig Elemente, z.B. Rührer, in den Signalweg hineinragen, oder Umstände auftreten, die zu einer Verschlechterung der Echoqualität, z.B. einem geringen Signal-Rausch Abstand, führen.

Patentansprüche

- 5 1. Verfahren zur Messung eines Füllstandes (7) eines
Füllgutes (1) in einem Behälter (3), mit einem nach
dem Laufzeitprinzip arbeitenden Füllstandsmeßgerät
(5), bei dem
- periodisch Sendesignale (S) in Richtung des
Füllgutes (1) gesendet werden,
 - deren Echosignale (E) aufgenommen und in eine
Echofunktion ($A(t)$) umgewandelt werden,
 - mindestens eine Echoeigenschaft der
Echofunktion ($A(t)$) bestimmt wird, und
 - anhand der Echoeigenschaften mindestens
einer vorherigen Messung eine Vorhersage (V) für die
bei der aktuellen Messung zu erwartenden
Echoeigenschaften abgeleitet wird,
 - die Echoeigenschaften der aktuellen Messung
unter Einbeziehung der Vorhersage (V) bestimmt
werden, und
 - anhand der Echoeigenschaften der aktuelle
Füllstand (7) bestimmt wird.
- 10
- 15
- 20
- 25
- 30
2. Verfahren zur Messung eines Füllstandes (7) eines
Füllgutes (1) in einem Behälter (3) nach Anspruch 1,
bei dem die Echoeigenschaften Laufzeiten (t_L , t_B , t_s)
von Maxima (M) der Echofunktion ($A(t)$) sind, und den
Maxima (M) ein bekannter Reflektor im Inneren des
Behälters (1), insb. eine Füllgutoberfläche, ein Boden
(15) des Behälters (3) oder ein fest eingebauter
Störer (9), zugeordnet werden kann.

3. Verfahren zur Messung eines Füllstandes (7) eines Füllgutes (1) in einem Behälter (3) nach Anspruch 2, bei dem anhand der Laufzeit (t_L , t_B) mindestens eines Maximums (L, B) einer vorangegangenen Messung eine Vorhersage (V) für die bei der aktuellen Messung zu erwartende Laufzeit (t_L , t_B) des entsprechenden Maximums getroffen wird.
- 5
4. Verfahren zur Messung eines Füllstandes (3) eines Füllgutes (1) in einem Behälter (3) nach Anspruch 3, bei dem die Vorhersage (V) getroffen wird, daß die zu erwartenden Laufzeiten (T_L , T_s , T_B) der Maxima (L, S, B) gleich den Laufzeiten (t_L , t_s , t_B) der entsprechenden Maxima der vorangegangenen Messung sind.
- 10
- 15
5. Verfahren zur Messung eines Füllstandes (7) eines Füllgutes (1) in einem Behälter (3) nach Anspruch 3, bei dem die Vorhersage (V) für die Laufzeiten (T_L , T_s , T_B) der Maxima ermittelt wird, indem anhand von mindestens zwei vorangegangen Messungen eine momentane Änderungsgeschwindigkeit $v(T_L)$, $v(T_s)$, $v(T_B)$ der Laufzeiten berechnet und die zu erwartende Laufzeit (T_L , T_s , T_B) anhand dieser Geschwindigkeit $v(T_L)$, $v(T_s)$, $v(T_B)$ extrapoliert wird.
- 20
- 25
6. Verfahren zur Messung eines Füllstandes (7) eines Füllgutes (1) in einem Behälter (3) nach Anspruch 3, bei dem die Vorhersage (V) für die Laufzeiten (T_L , T_s , T_B) der Maxima ermittelt wird, indem anhand von mindestens drei vorangegangen Messungen eine momentane Beschleunigung $a(T_L)$, $a(T_s)$, $a(T_B)$ und eine momentane Geschwindigkeit $v(T_L)$, $v(T_s)$, $v(T_B)$ der Laufzeiten berechnet und die zu
- 30

erwartende Laufzeit (T_L , T_s , T_B) anhand der Beschleunigung $a(T_L)$, $a(T_s)$, $a(T_B)$ und der Geschwindigkeit $v(T_L)$, $v(T_s)$, $v(T_B)$ extrapoliert wird.

- 5 7. Verfahren zur Messung eines Füllstandes (7) eines Füllgutes (1) in einem Behälter (3) nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem
- eine Echoeigenschaft die Laufzeit (t_L) des an der Füllgutoberfläche reflektierten Nutzechos (L) ist,
 - anhand mindestens einer vorangegangenen Messung die bei der aktuellen Messung zu erwartende Laufzeit (T_L) des an der Füllgutoberfläche reflektierten Nutzechos (L) bestimmt wird,
 - dasjenige Maximum (M) der aktuellen Echofunktion ($A(t)$) bestimmt wird, dessen Laufzeit (t_M) die geringste Abweichung zu der vorhergesagten Laufzeit (T_L) des an der Füllgutoberfläche reflektierten Nutzechos (L) aufweist, und
 - anhand der Laufzeit (t_M) dieses Maximum der aktuelle Füllstand (7) bestimmt wird.
- 10 8. Verfahren zur Messung eines Füllstandes (7) eines Füllgutes (1) in einem Behälter (3) nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem
- eine Echoeigenschaft die Laufzeit (t_B) des am Boden (15) des Behälters (3) reflektierten Echos (B) ist,
 - anhand mindestens einer vorangegangenen Messung die bei der aktuellen Messung zu erwartende Laufzeit (T_B) des am Boden (15) des Behälters (3) reflektierten Echos (B) bestimmt wird,
 - dasjenige Maximum (M) der aktuellen Echofunktion ($A(t)$) bestimmt wird, dessen Laufzeit (t_M) die geringste Abweichung zu der vorhergesagten Laufzeit (T_B) des am Boden (15) des Behälters (3)

reflektierten Echos (B), und

- unter Einbeziehung der Laufzeit (t_M) dieses Maximum (M) der aktuelle Füllstand (7) bestimmt wird.

5

9. Verfahren zur Messung eines Füllstandes (7) eines Füllgutes (1) in einem Behälter (3) nach Anspruch 8, bei dem

- aus der Laufzeit (t_B) des aktuellen am Boden (15) reflektierten Echos (B) ein Schätzwert (T_{lx}) für die Laufzeit (T_L) des aktuellen Nutzechos (L) berechnet wird,
- dasjenige Maximum (M) der aktuellen Echofunktion ($A(t)$) bestimmt wird, dessen Laufzeit (t_M) die geringste Abweichung zu dem Schätzwert (T_{lx}) aufweist, und
- anhand der Laufzeit (t_M) dieses Maximum (M) der aktuelle Füllstand (7) bestimmt wird.

10

15

20

25

10. Verfahren zur Messung eines Füllstandes (7) eines Füllgutes (1) in einem Behälter (3) nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem die Meßergebnisse fortlaufend auf deren Plausibilität hin überprüft werden.

Zusammenfassung**Verfahren zur Füllstandsmessung nach dem Laufzeitprinzip**

5

Es ist ein Verfahren zur Messung eines Füllstandes (7) eines Füllgutes (1) in einem Behälter (3), mit einem nach dem Laufzeitprinzip arbeitenden Füllstandsmeßgerät (5), vorgesehen, das zuverlässig arbeitet, bei dem periodisch Sendesignale (S) in Richtung des Füllgutes (1) gesendet werden, deren Echosignale (E) aufgenommen und in eine Echofunktion ($A(t)$) umgewandelt werden, mindestens eine Echoeigenschaft der Echofunktion ($A(t)$) bestimmt wird, und anhand der Echoeigenschaften mindestens einer vorherigen Messung eine Vorhersage (V) für die bei der aktuellen Messung zu erwartenden Echoeigenschaften abgeleitet wird, die Echoeigenschaften der aktuellen Messung unter Einbeziehung der Vorhersage (V) bestimmt werden, und anhand der Echoeigenschaften der aktuelle Füllstand (7) bestimmt wird. (Fig. 1)

10

15

20

1/2

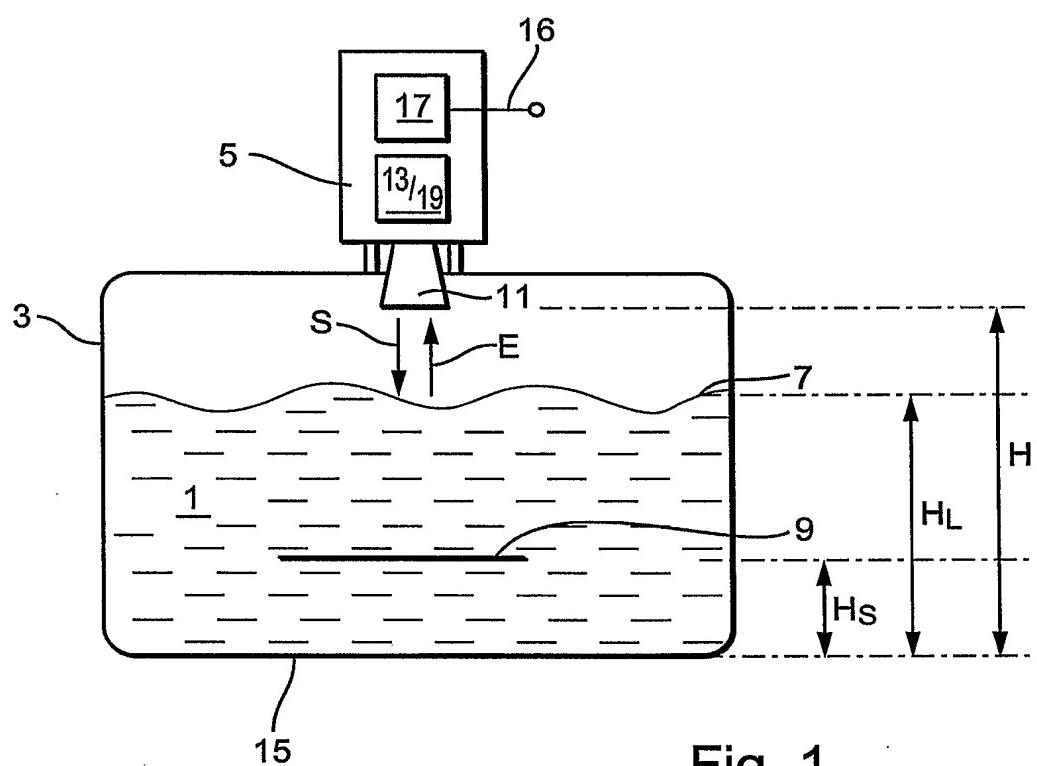


Fig. 1

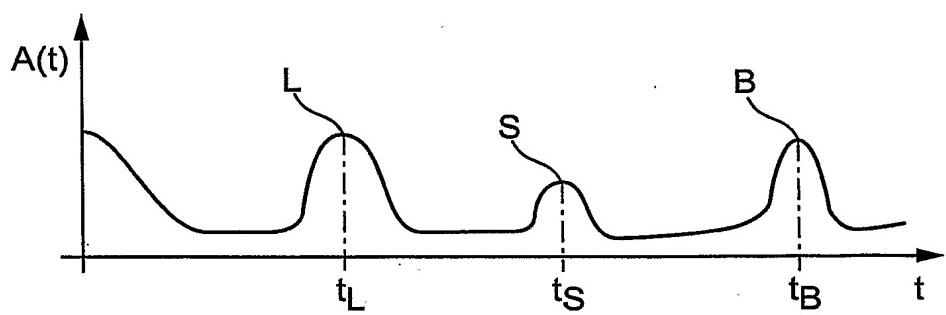


Fig. 2

2/2

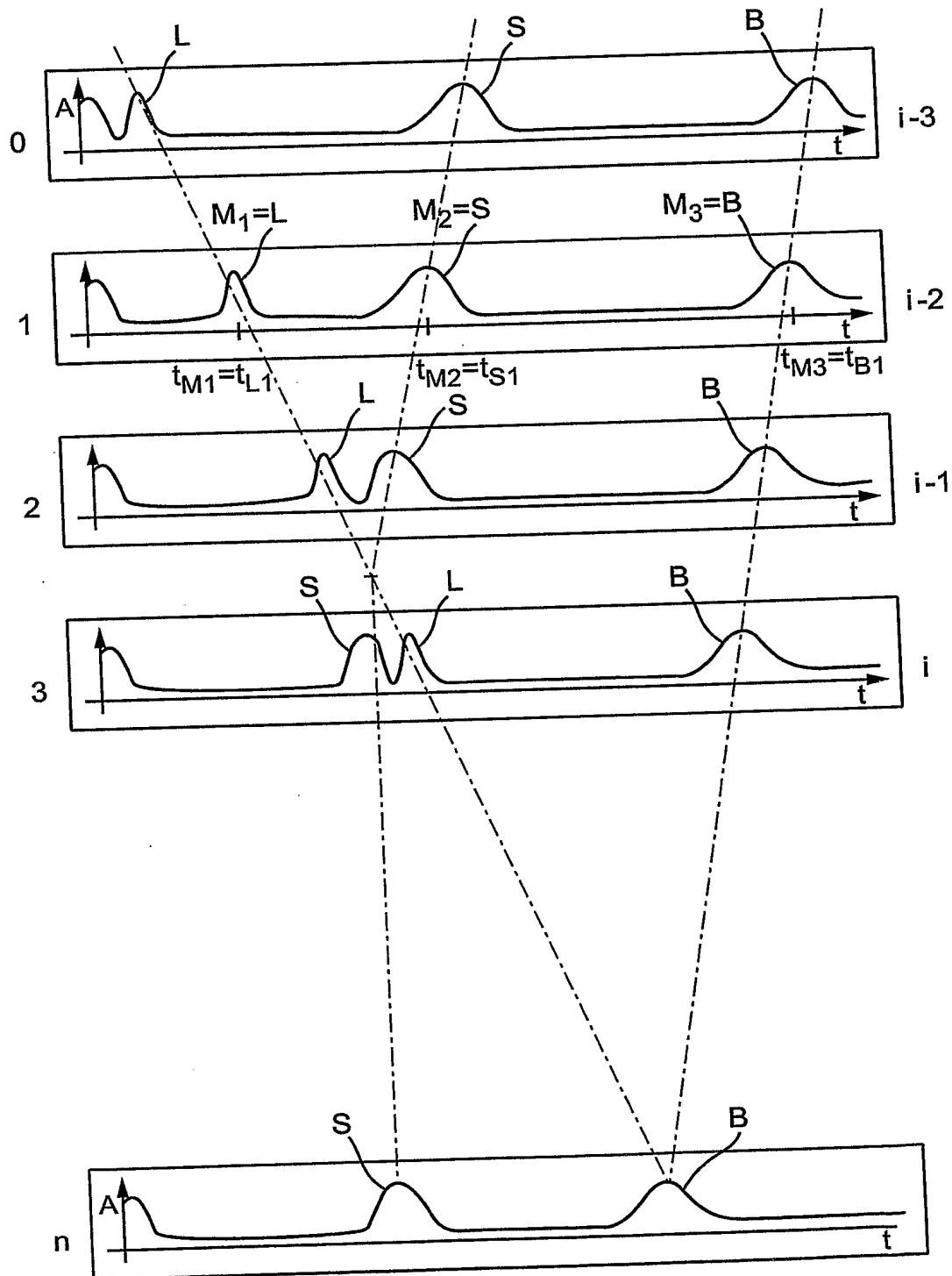


Fig. 3